

改进的八邻域搜索提取建筑物立体特征方法

屈亚运, 程英蕾, 邱浪波

(空军工程大学信息与导航学院,西安,710077)

摘要 针对目前常用的八邻域搜索方法在提取具有斜面屋顶的建筑物 3D 特征精度不高问题, 设定较小的高程差阈值, 利用八邻域搜索方法提取建筑物, 提高算法对建筑物的提取的正确率; 利用待判断点周围 4 个方向的梯度差分完成对地物点云的二次提取, 提高建筑物提取的完整率; 用连通域内点的个数表示实际场景中的面积大小, 设定合理阈值, 可以剔除植被面片和其他地物面片。实验结果表明, 改进后的方法明显提高了从混合点云中提取建筑物的正确率和完整率, 提高了算法对坡度较大的斜面屋顶 3D 特征提取的适应性。

关键词 激光雷达; 建筑物; 八邻域; 特征提取; 规则格网

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2015.04.016

中图分类号 TP317.4 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2015)04-0066-04

An Improved Method of Extracting 3D Features of Buildings Based on Eight Neighborhood Search Method

QU Yayun, CHENG Yinglei, QIU Langbo

(Information and Navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: In order to acquire a better extraction of 3D features of building and aimed at the problem that the eight neighborhood search method of extracting 3D features of the building with a sloping roof is not good in precision, in this paper, a smaller threshold elevation difference is set first and then buildings are extracted by using the eight neighborhood search method to improve the accuracy of the algorithm for the extraction of the buildings. The graded differentials in four directions around the point are used to complete the secondary extraction of the feature points cloud to increase the full rate of the extraction of the buildings. The building patch has a large surface area of the chip features and represents the actual number of communicating with the interior point of scene size. Setting of a reasonable threshold can eliminate the vegetation patches and other surface features patches. The results show that the use of the improved method can obviously increase the accuracy and integrity rate of 3D features of building extracted from the mixture of the point cloud and the adaptability of the method in extracting the sloping roof is improved.

Key words: LIDAR; building; eight neighborhood; feature extraction ; virtual grid

随着激光雷达(Light Detection and Ranging, LIDAR)技术水平的不断提高,以 LIDAR 数据为基础的目标立体重构技术^[1]得到迅猛发展。滤除地面点以后,如何将建筑物从高于地表的植被、人工设施

等地物点云中提取出来,是该领域研究的重点和热点^[2]。使用 LIDAR 数据提取建筑物目标时,从非地面点中提取感兴趣的建筑物目标点这一步骤中,八邻域搜索方法^[3]是近年来被用来结合高程信息提

收稿日期:2015-01-12

基金项目:中国博士后基金资助项目(2014M562585);陕西省自然科学基金资助项目(20154JM6346)

作者简介:屈亚运(1990-),男,陕西咸阳人,硕士生,主要从事机载 LIDAR 点云处理研究.E-mail:yayunqu@163.com

引用格式:屈亚运,程英蕾,邱浪波.改进的八邻域搜索提取建筑物立体特征方法[J].空军工程大学学报:自然科学版,2015,16(4):66-69.
QU Yayun, CHENG Yinglei, QIU Langbo. An Improved Method of Extracting 3D Features of Buildings Based on Eight Neighborhood Search Method[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2015, 16(4): 00-00.

取建筑物点的常用方法。八邻域点搜索方法具有原理简单^[4]、计算量小等优点,对平面屋顶和坡度较小的斜面屋顶的提取效果很好。但是当测区的建筑物屋顶结构比较复杂时,例如存在坡度较大的斜面屋顶,该算法就有高程差阈值难设定的缺点^[5-6]。而在八邻域搜索方法中,高程差阈值的设定对提取效果影响较大。建筑物提取效果的评价一般用正确率和完整率来表示。当高程差阈值设定较大时,容易把高程变化不大的密集植被点误提取为建筑物点^[7],建筑物提取的正确率较低;当高程差阈值设定较小时,不能提取出屋顶结构比较复杂的建筑物点,建筑物提取的完整率较低^[8]。

1 改进八邻域搜索方法

针对传统八邻域搜索方法的不足,将梯度差分引入对点云的分割。首先将上述算法当中高程差阈值 h_{tho} 设定得较小,提高建筑物点提取的正确率^[9]。处理之后,几乎所有的平面屋顶点被提取出来。剩余点由坡度较大的斜面屋顶点和植被点及其他地物点组成。然后进行第 2 次分割,将坡度较大的斜面屋顶从植被和其他地物点中当中分离出来。将 2 次分割得到的屋顶点融合在一起就能得到了几乎各个形状屋顶的建筑物点,保证了建筑物提取的完整率。最后利用面片面积的大小的不同区分建筑物面片和非建筑物面片^[10]。

1.1 融合八邻域梯度差分进行再分割

从数学角度看,高程值的二阶导数反映了区域表面的起伏程度的大小。建筑物屋顶面,无论平顶,三角或人字形,都比较平坦。其屋顶表面的二阶导数接近于零^[11]。因此,在规则格网对数据的组织下,梯度差分就可以表示该点在建筑表面的二阶导数的大小。设定合理的梯度差分阈值可以将建筑物点从植被点及其他地物点中提取出来。在 $nDSM$ 的 3×3 邻域内进行再分割,其步骤如下:

1)在初次分割的非建筑点云组成的规则格网里,选择最左上方作为第一个待判断点,见图 1。点 p 为待判断点,周围八邻域点分别记作点 1 至点 8,建立 3×3 的数组 B ,把待判断点和八邻域上的高程值放入其中,分别记作点 p 和点 1 至点 8,各个点高程值记作 $H_p, H_1 \sim H_8$ 。

2)由几何知识可知,每个方向上的梯度差分可以由这个方向上的梯度值相减求得。由于规则格网平行于地面,点 p 与点 2、点 4、点 6、点 8 垂直映射到地面的点之间的距离为正方形单元网格的边长,点 p 与点 1、点 3、点 5、点 7 的垂直映射到地面的点之

间的距离为正方形单元网格的对角线长。为便于计算,把单元格网的宽度记做单位 1。每个单元格网的对角线长为 $\sqrt{2}$ 。图 2 以点 p 为中心,可以求得点 2 p 6,点 4 p 8,点 1 p 5,点 3 p 7 所在 4 个方向上的梯度差分,分别记作 D_1, D_2, D_3, D_4 。各个点集所在方向上的高程值梯度差分可分别表示为:

$$D_1 = |(Hp - H_2) - (H_6 - Hp)| = |2Hp - H_2 - H_6| \quad (1)$$

$$D_2 = |(Hp - H_4) - (H_8 - Hp)| = |2Hp - H_4 - H_8| \quad (2)$$

$$D_3 = \frac{|(Hp - H_1) - (H_5 - Hp)|}{\sqrt{2}} = \frac{|2Hp - H_1 - H_5|}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

$$D_4 = \frac{|(Hp - H_3) - (H_7 - Hp)|}{\sqrt{2}} = \frac{|2Hp - H_3 - H_7|}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

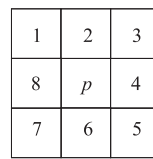


图 1 八邻域

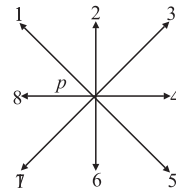


图 2 4 个方向

Fig.1 The eight neighborhoods Fig.2 the four of directions

3)设定一个梯度差分阈值 D_{tho} ,与点 p 周围 4 个给定方向的梯度差分值 D_1, D_2, D_3, D_4 进行比较。当 4 个梯度差分值同时小于 D_{tho} 时,该点提取为建筑物。否则为植被点或其他地物点。

4)按左右上下顺序搜索下一个相邻点作为待判断点,重复步骤 1)到 3),直到所有点处理完。

1.2 利用连通域内点数剔除非建筑物面片

经过上述两步提取,屋顶面和屋脊存在缝隙和漏洞。通过膨胀运算可以填补。原理为:

膨胀运算可以光滑邻域间的高程值变化,除去突刺和漏洞。在激光雷达点云数据高度信息生成的格网化 DSM 中,膨胀运算定义为:

$$Zd(i, j) = (Z \oplus g)(i, j) = \max_{(s, t) \in \omega} [Z(s, t)] \quad (5)$$

式中: Z 为格网化 DSM; g 为结构元素; $Z \oplus g$ 为膨胀运算; $Zd(i, j)$ 为膨胀运算后格网化 DSM 中索引为 (i, j) 的格网高程值, ω 为结构元素对应的窗口大小。

此外,测区仍存在一些密集高大的植被点,反射的点云高程数据与建筑物的高程数据比较接近。仅依靠高程差粗糙度还不能剔除这些植被点。在上述两次处理以后,测区出现由建筑物点云形成的大小不一的连通域,每个连通域所包含的点数代表实际场景中地物面积的大小。一般建筑物面片面积比较大,而植被面片面积较小。

统计每个连通域内点数即建筑物点数,记作 $S_i (1 \leq i \leq m, m$ 为连通域个数),设置一个连通域内点的个数阈值 S_{tho} ,并将 S_i 与之进行比较,若 S_i

$\geq S_{tho}$, 则 i 所代表的实际中的面片为建筑物面片, 否则为非建筑物面片, 予以剔除^[12]。

2 实验结果及分析

本文以 MATLAB 为平台, 利用 ISPRS 提供的 3 组点云数据进行实验。本文采用的实验 LIDAR 点云坐标数据是以大地测量坐标系形式存储三维 ASCII 文本文件, 每一行记录着对应 x, y, z 空间点的坐标值。两组数据的容量大小分别为 42 470 个和 25 095 个离散点, 地形比较平坦, 地物主要由建筑物和植被构成。建筑物屋顶有平顶、人字形等形状适合本文算法的验证。

2.1 实验的主要步骤和结果

1) 导入不规则的 LIDAR 点云数据 (x, y, z) 进行格网重采样, 若有几个点落入同一网格中, 则选取高程最低点; 如格网中没有激光脚点落入, 则取最邻近点高程, 生成距离图像, 三维显示见图 3。

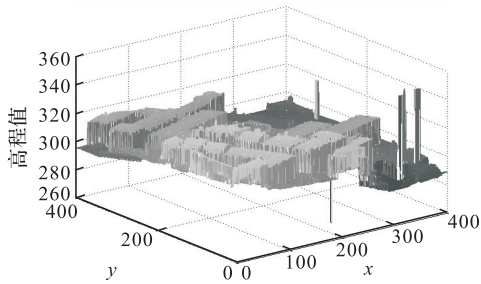
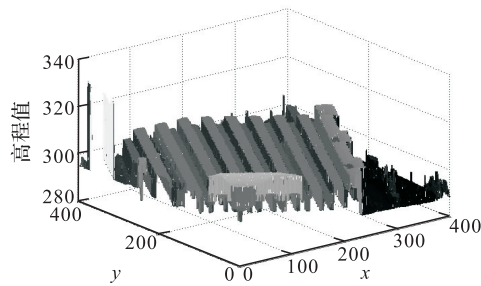


图 3 格网化的点云的三维显示

Fig.3 The 3D display of points cloud

2) 对采样后的规格格网数据进行开运算, 得到滤波后的地形表面; 分割地面点和非地面点, 并滤除地面点, 地物点为图中白色部分见图 4。

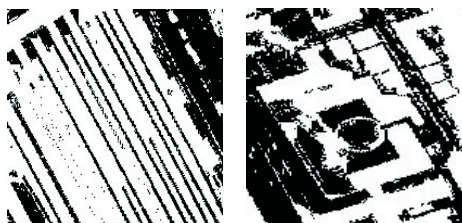


图 4 格网化的地物点显示

Fig.4 Terrain points demonstration in grid

3) 取高程差阈值 h_{tho} 为 2 m, 八邻域内点数阈值 N 为 6, 用八邻域搜索方法并对混合地物区域进行提取, 得到建筑物提取结果见图 5。

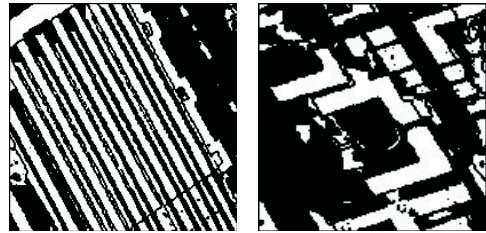


图 5 高程差阈值较大时八邻域搜索方法提取结果

Fig.5 The extraction result of eight neighborhoods search with larger height difference threshold

4) 取高程差阈值 h_{tho} 为 0.5 m, 八邻域内点数阈值 N 为 6, 用八邻域搜索方法并对混合地物区域进行提取, 地物点中的剩余点见图 6, 得到建筑物提取结果见图 7。

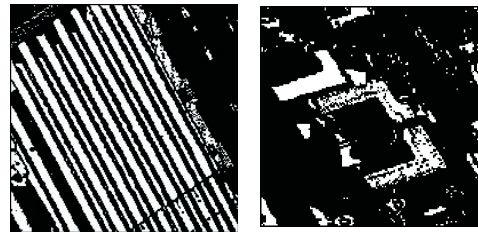


图 6 高程差阈值较小时八邻域搜索方法提取结果

Fig.6 The extraction result of eight neighborhoods search with smaller height difference threshold

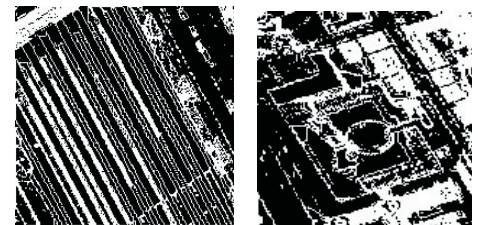


图 7 剩余点

Fig.7 The left points

5) 设定梯度差分阈值 D_{tho} 为 0.3 m, 用八邻域梯度差分对剩余点进行再提取, 提取的结果如图 8, 将 2 次提取的结果融合结果见图 9。

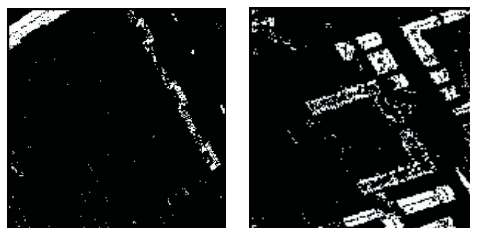


图 8 利用梯度差分提取斜面屋顶点

Fig.8 Points of slope roof

6) 先膨胀运算, 填补屋顶屋脊上的漏洞和缝隙, 然后设定连通域内点数阈值 S_{tho} 为 20, 过滤非建

筑物的面片,结果见图10。

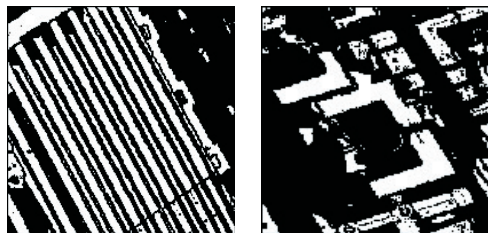


图9 融合两次分割的建筑物点

Fig.9 The building points blending result of twice segmentation

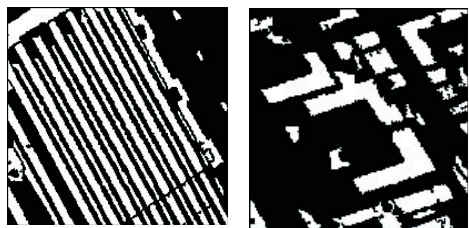


图10 剔除小面积面片的结果

Fig.10 The extraction result with small area being excluded

2.2 试验分析

对比图5和图6,图中其中黑色部分为非建筑区域,白色部分是提取的建筑物区域,可以发现:当高差阈值设定过大时,会把很多噪声点误提取为建筑物点;当高程差阈值设定过小时,传统的八邻域搜索方法几乎不能提取坡度较大的斜面屋顶;如图10所示,通过和图5图6比较可知,改进以后的方法不仅使提取建筑点时引入的噪声点减少,并且可以比较完整得提取出斜面屋顶。通过上述实验发现,采用改进后的方法进行建筑物的提取是可行的,提取建筑物的正确率和完整率明显提高。

3 结语

在传统的八邻域搜索算法的基础上,融合八邻域梯度差分对剩余地物点云进行再分割。在提高平面上建筑物点提取正确率的同时,也使斜面屋顶上的建筑物点被更完整地提取出来;最后再通过膨胀运算及设定连通域内点数阈值过滤掉非建筑物面片。实验结果表明,改进后方法能够提高建筑物提取的正确率和完整率,效果理想,为下一步的研究打下了良好的基础。

参考文献(References):

[1] 马东洋, 尚大帅, 保永强. 一种基于高程差粗糙度的建筑物激光脚点提取方法[J]. 测绘科学技术学报, 2013, 30(2): 158-161.
MA Dongyang, SHANG Dashuai, BAO Yongqiang. A Building Extraction Method Based on Roughness of Height Difference for Airborne LIDAR Point Cloud Data[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2013, 30(2): 158-161. (in Chinese)

[2] 徐文学, 杨必胜, 董震. 标记点过程用于点云建筑物提取[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2014, 29(5): 520-525.
XU Wenxue, YANG Bisheng, DONG Zhen. Building Extraction from Point Cloud Using Marked Point Process[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2014, 29(5): 520-525. (in Chinese)

[3] 徐文学, 杨必胜, 魏征. 多标记点过程的 LIDAR 点云数据建筑物和树冠提取点[J]. 测绘学报, 2013, 42(1): 51-58.
XU Wenxue, YANG Bisheng, WEI Zheng. Building and Tree Crown Extraction from LIDAR Point Cloud Data Based on Multimarked Point Process[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2013, 42(1): 51-58. (in Chinese)

[4] 曾静静. 基于 LIDAR 点云与 CCD 影像的建筑物特征提取[D]. 济南: 山东科技大学, 2011.
ZENG Jingjing. Building Feature Extraction from LIDAR Point Cloud and CCD Image[D]. Jinan: Shandong University of Science and Technology, 2011. (in Chinese)

[5] Keqi Zhang, Jianhua Yan. Automatic Segmentation of LIDAR Point Cloud Data at Different Height Levels for 3D Building Extraction [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(9): 2523-2531.

[6] 陈永枫. 基于机载 LIDAR 点云数据的建筑物重建技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2013.
CHEN Yongfeng. Research on Airborne LIDAR Point Cloud Data Building Reconstruction Technology[D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2013. (in Chinese)

[7] Axelsson P. DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models [J]. International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, 2000, 33(B4): 110-117.

[8] 刘修国, 张靖. LIDAR 点云数据中建筑物的快速提取[J]. 中国地质大学学报, 2006, 31(5): 615-618.
LIU Xiuguo, ZHANG Jing. Extract Buildings Quickly from Lidar Point Cloud Data [J]. Journal of China University of Geosciences, 2006, 31(5): 615-618. (in Chinese)

[9] Lijun Xu, Deming Kong. On-the-Fly Extraction of Polyhedral Buildings from Airborne LIDAR Data [J]. IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters, 2014, 11(11): 1946-1950.

[10] 刘士程. 基于 LIDAR 数据提取建筑物顶部轮廓线方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
LIU Shicheng. Extraction of Building Roof Contours from LIDAR Data [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2012. (in Chinese)

[11] 杨洋, 张永生. 基于 LIDAR 数据的建筑物轮廓提取[J]. 测绘科学, 2010, 35(3): 203-205.
YANG Yang, ZHANG Yongsheng. The Study on Building Boundary Extraction Based on LIDAR Data [J]. Science of Surveying and Mapping, 2010, 35(3): 203-205. (in Chinese)

[12] 张利明. 机载激光雷达点云数据分类方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
ZHANG Liming. The Method of Airborne Laserscanning Data Classification [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013. (in Chinese)

(编辑: 姚树峰)